

بررسی تاثیر ضریب شکل ساختمان بر مصرف انرژی و ارائه فرم بهینه جهت کاهش مصرف

انرژی در ساختمان های میان مرتبه شهر شیراز

Investigating the effect of the building form factor on energy consumption and providing an optimal form to reduce energy consumption in mid-rise buildings in Shiraz

رضا ابوالوردی^{۱*}، فاطمه سادات مجیدی^۲، غزل فرجامی^۳

^۱ دانشجوی ارشد معماری و انرژی، موسسه دانش پژوهان پیشرو اصفهان

r.abolvardi@gmail.com

^۲ استادیار، گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

M.artmies@gmail.com

^۳ استادیار، گروه ارشد معماری داخلی، موسسه دانش پژوهان پیشرو اصفهان

qazalfarjami@gmail.com

چکیده

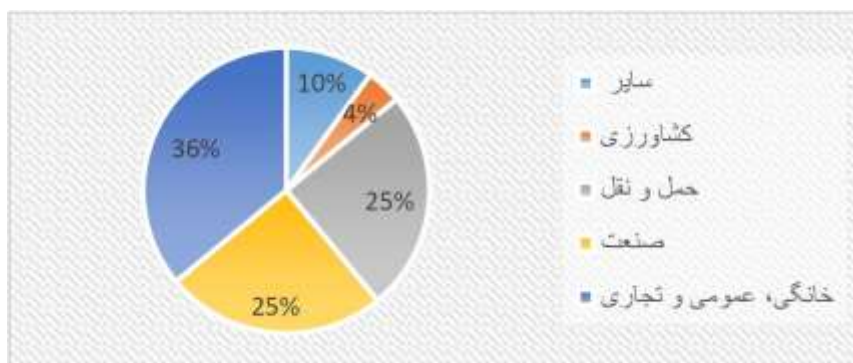
با رشد جمعیت در صده اخیر و نیاز روزافزون به مسکن که در پی آن نیاز بشر را به انرژی بیشتر منجر شده است از طرفی و نیز کاهش منابع انرژی به دلیل استفاده مستمر از منابع طبیعی تجدید ناپذیر از طرف دیگر، طراحان و دست اندرکاران مسکن را به فکر انداخت تا با بهینه سازی مصرف انرژی در روند طراحی ساختمان بخشی از کمبود انرژی را در سال های آتی جبران کنند. طراحی و ساخت مجتمع های مسکونی با فرم بهینه، راه حلی صحیح در راستای خلق ساختمان هایی با مصرف انرژی کمتر بود ازین رو محققان در پی یافتن فرم و حجم و رابطه این دو در جهت کاهش مصرف انرژی برآمدند. در این مقاله که بر پایه یک تحقیق کیفی با مبنای پژوهش علمی تجربی انجام گرفته است به این مقوله پرداخته شده که اثرات نسبت پوخته ساختمان به حجم آن در مصرف انرژی ساختمان چگونه است و در ادامه با ورود داده ها در نرم افزار دیزاین بیلدر و استخراج مقادیر مصرف انرژی در هر مدل به مقایسه مصرف انرژی در چهار فرم پیشنهادی مکعب مربع، مکعب مستطیل، نیم کره و استوانه پرداخته و نتایج ارائه گردیده است. نتایج حاکی از این پژوهش نشان داد که با کاهش ضریب شکل در میان فرم های مختلف به همان ترتیب از مصرف انرژی در ساختمان کاسته می شود، به عبارتی بین مصرف انرژی یک ساختمان و ضریب شکل آن رابطه مستقیم برقرار است.

کلید واژه: ضریب شکل ساختمان، بهینه سازی مصرف انرژی، پاکت ساختمان، دیزاین بیلدر

مصرف انرژی را می توان در دو بخش مصارف صنعتی و مصارف خانگی خلاصه کرد. در صنایع غالباً مصرف انرژی در جهت ساخت و راه اندازی کارخانه ها و ایجاد یا ارتقا تکنولوژی، مورد استفاده قرار می گیرد همچنین در مصارف خانگی غالب انرژی در برآورده ساختن آسایش حرارتی انسان در محل زندگی مصرف می گردد. یکی از ابزارهای معماری در مرحله طراحی، فرم و شکل ظاهری بناست که با طراحی مناسب می توان از این مقوله بخشی از نیازهای حرارتی و برودتی بنا را با استفاده از شرایط اقلیمی تامین کرده و ضمن ایجاد فضای مناسب زیست، نیاز به مصرف انرژی را کاهش داد (ایرانمنش، ۱۳۹۰). مصرف روزافزون انرژی و کاهش ذخایر انرژی و نیز آلودگی های ناشی از مصرف انرژی افکار اندیشمندان را به صف کرده که با طراحی ساختمان ها با رویکرد کاهش مصرف انرژی گام بردارند، در این میان محققان به ایده هایی از جمله استفاده از مواد و متریال های مختلف و طراحی اقلیمی و بهره گیری از انرژی های سبز در این زمینه پرداخته اند، لیکن در جهت توجه به ارتباط فرم با مصرف انرژی قدم های کمتری برداشته شده است (شاهرودی و اخترکاو، ۱۳۹۹). ازین رو نیاز است با توجه به این مقوله معماران و طراحان با تمسک به دستاوردهای پژوهشی از الگوی های طراحی در جهت کاهش مصرف انرژی بیشتر بهره جویی کنند. پژوهشگر در این تحقیق قصد دارد به این سوال پاسخ گوید که بهترین پاکت ساختمانی در جهت کاهش مصرف انرژی در بین فرم های پیش فرض مکعب مربع، مکعب مستطیل، نیم کره و استوانه، کدام است. در این میان بازدهی از ساختمان ها شامل ساختمان های میان مرتبه شهرستان شیراز جهت بررسی در نظر گرفته شده است و سپس با محاسبه ضریب شکل ساختمان برای هر فرم پیشنهادی و مدل سازی هر فرم در نرم افزار دیزاین بیلدر اقدام به مقایسه نتایج بدست آمده گردیده و در انتها به ارائه فرم بهینه پرداخته شده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

مصرف انرژی در ساختمان های ایران و جهان رو به افزایش است و بر طبق تحقیقات ایران با جمعیتی در حدود یک درصد جمعیت جهان حدود ۹ درصد نفت و مشتقات نفت را مصرف می کند (Rubin&Paridson, 2002:8) و همچنین مطالعات نشان می دهد در دهه های اخیر مصرف سرانه انرژی در ایران حدود پنج برابر سرانه مصرف انرژی در جهان بوده است (بهادری نژاد، ۱۳۸۵:۴). مصرف بی رویه انرژی و نگرانی از افزایش گازهای گلخانه ای و آلودگی های زیست محیطی پژوهشگران را به تلاش واداشته تا راهکارهایی در جهت ارائه دهند که با کاهش استفاده از منابع فسیلی ارائه دهند (Bagci, 2001). از پر مصرف ترین بخش های انرژی ساختمان ها هستند که سالانه بیش از ۴۰ درصد انرژی را به استفاده می رسانند (نصراللهی، ۱۳۹۰). در نمودار-۱ بخوبی تفکیک انرژی در حوزه های مختلف مصرف انرژی را نشان داده شده است و نیز از میان ساختمان ها، ساختمان های با کاربری مسکونی و خانگی نقش به سزایی در افزایش مصرف انرژی دارند.



نمودار-۱: مصرف انرژی در بخش های مختلف انرژی (منبع: اسدیان و همکاران، ۱۳۹۳)

با توجه به مدیریت مصرف ذخایر طبیعی و نیاز نسل های آینده و نیز توجه به کاهش مخارج مصرف انرژی خانوار، ضرورت مطالعه و پژوهش در این حوزه را دوچندان می کند؛ بدین ترتیب استفاده از روش های نوین در راستای دست یابی به فرم بهینه ساختمان در جهت کاهش مصرف انرژی امری ضروری می باشد (بهادریان و نصراللهی، ۱۳۹۷). منظور از فرم، هندسه حجمی کلی ساختمان می باشد. پیدایش فرم

در معماری رابطه مستقیم با فرهنگ و اعتقادات مردم دارد، طراح معمار باید بین فیزیک ساختمان، نوع استفاده، شرایط اقلیمی و سازه و دیگر ملاحظات کاربری ساختمان به نحو مطلوبی هماهنگی ایجاد کند (بازیار، ۱۳۹۴).

انسان با مصرف انرژی تولید شده از منابع فسیلی انرژی و تولید گارهای گلخانه ای روز به روز بر عدم توازن انرژی زمین افزوده است؛ بر طبق پیش بینی محققین این امر در آینده نزدیک منجر به تشدید گارهای گلخانه ای خواهد شد. لازم است معماران و دست اندرکاران صنعت ساختمان به مباحثی مانند معماری پایدار و معماری سبز و نیز طراحی اولیه ساختمان بر مبنای مدیریت مصرف انرژی با انتخاب فرم و شکل ظاهری بنا متناسب با اقلیم و نیاز حرارتی و برودتی، مورد توجه قرار دهند (ایرانمنش، ۱۳۹۰). مطالعات علمی حاکی از آن است که ۳۰ تا ۳۵ درصد انرژی توسط بخش ساختمان مصرف می شود، با توجه به محدودیت و کاهش منابع فسیلی انرژی و نیز به علت تولید آلودگی های زیستی من جمله گازهای گلخانه ای، توجه به روش های فعال و غیر فعال در جهت بر طرف کردن نیاز ساختمان به انرژی، اهمیت قابل توجه ای دارد (خرد رنجبر، ۱۳۹۰). آمارهای بدست آمده نشان می دهد ایران یکی از پر مصرف ترین کشورهای جهان در میزان مصرف انرژی است، در این میان شهر شیراز به عنوان یکی از مراکز استان که از لحاظ جغرافیایی در دشت مستطیلی شکل در جنوب ایران جا گرفته، دارای آب و هوای گرم و نیمه خشک است، لذا شهر شیراز به عنوان بزرگترین شهر جنوبی کشور از اهمیت ویژه ای در رابطه با مصرف انرژی قلمداد می شود این امر لزوم پژوهش درباره فرم بهینه ساختمان در راستای کاهش مصرف انرژی ساختمان در این شهر را حیاتی تر می نماید (شاهرودی و اخترکاو، ۱۳۹۹).

در خصوص حجم و فرم کلی ساختمان باید گفت: بهترین فرم ساختمان در صورتی فراهم میشود که نسبت سطح پوست خارجی ساختمان به حجم فضایی آن در کمترین حالت ممکن باشد تا در این حالت بتوان انتقال حرارتی ساختمان از بخش جداره ها را به کمترین میزان رساند (قاضی زاده، ۱۳۹۳) در تعیین مناسبترین فرم و حجم ساختمان باید توجه نمود که بهترین شکل ساختمان شکلی است که کمترین مقدار حرارت را در زمستان از دست بدهد و در تابستان نیز کمترین مقدار حرارت را از آفتاب و محیط اطرافش

کسب کند (کسمایی، ۱۳۹۵). بر اساس آمارهای بدست آمده ایران یکی از پر مصرف ترین کشورها از نظر مصرف انرژی است. که می توان به رعایت نکاتی درباره ی فرم و طراحی ساختمان با توجه به قرارگیری آن در هر یک از اقلیم های سرد، معتدل، گرم و خشک، گرم و مرطوب میزان انرژی مصرفی را تا حد امکان کاهش داد لیکنمی توان با توجه به جهت گیری ساختمان، طراحی و فرم سقف ها، دیوارها، سایبان ها، بادشکن ها به نحوی عمل کرد تا در کلیه فصول سال از کمترین انرژی گرمایشی و سرمایشی و بیشترین انرژی خورشیدی جهت دستیابی به الگوی مصرف بهینه استفاده شود (کاریزکی ۱۳۹۵). شهر شیراز به عنوان مرکز استان فارس در دشتی تقریباً مستطیل شکل در جنوب کشور ایران قرار گرفته است که دارای آب و هوای گرم و نیمه خشک است آنچه در ترکیب معماری و بافت شهرهای ایران از جمله شیراز میتوان مشاهده کرد این است که عامل آب و هوا در دادن شکل منطقی به بافت شهر و ترکیب معماری این ناحیه نقش عمدهای داراست و به عنوان مهمترین شهر بخش جنوبی ایران، دارای معماری خاصی میباشد (شاهرودی ۱۳۹۹).

هدف مقاله تاثیر طراحی اقلیمی و فرم ساختمان برای کاهش همه جانبه هزینه انرژی در ساختمان می باشد. در پی تحقیقات پژوهشگر و مطالعات، محقق به این باور رسید که در راستای ارائه الگوها با رویکرد کاهش مصرف انرژی در ساختمان ها اکثر پژوهش های صورت گرفته پیرامون معماری همسو با اقلیم، معماری پایدار و استفاده از متریال هایی در جهت حفظ انرژی در ساختمان بوده و تحقیقات کمتری در مورد پاکت حجمی ساختمان صورت گرفته است؛ پژوهشگر در این میان با این سوال روبروست که رابطه فرم بهینه ساختمان با ضریب شکل ساختمان چگونه است؟ و سپس با بررسی دیتاهای خروجی از نرم افزار و در نهایت مقایسه نتایج بدست آمده به ارائه فرم بهینه در راستای کاهش مصرف انرژی در ساختمان های میان مرتبه شهر شیراز پردازد.

۳- بحث

۳-۱ روش

در این تحقیق که بر پایه یک تحقیق کیفی در راستای توسعه پژوهش های علمی تجربی گذشته صورت گرفته، چهار فرم پیشنهادی مکعب مربع، مکعب مستطیل، نیم کره و استوانه، بررسی گردید، مساحت پوسته و حجم هر فرم محاسبه شد و سپس ضریب شکل هر کدام از فرم ها به دست آمد. با مدل سازی هر کدام از فرم ها در نرم افزار اتوکد ضمن ثابت نگه داشتن متغیرهای مساحت زیربنای ساختمان که در پی آن منجر به ثابت نگهداشتن حجم کلی ساختمان می شود، مساحت پوسته ساختمان محاسبه شد و سپس مدل سازی در نرم افزار دیزاین بیلدر با ثابت نگه داشتن اقلیم، آنالیز صورت گرفت و میزان مصرف انرژی برای هر کدام از فرم ها استخراج و مقایسه گردید.

۳-۲ یافته ها

۳-۲-۱ مدل سازی

اکنون به بررسی چهار فرم هندسی مختلف از جمله نیمکره، مکعب مربع و مستطیل و استوانه می پردازیم. در این احجام مساحت زیربنای اولیه پایه طراحی برای تمام فرم های هندسی ۲۸۰۰ متر مربع در نظر گرفته شده است و ارتفاع سقف ها در همه ی مدل ها برابر با ۳ متر است. باز طرف دیگر طبقات ساختمان با توجه به میان مرتبه بودن بین ۵ الی ۷ طبقه روی پیلوت طراحی می شود. در نهایت حجم اولیه طراحی محصور به پوسته خارجی ساختمان در حدود ۸۴۰۰ متر مکعب برای همه مدل ها می باشد؛ و درصد باز شو پنجره ها نسبت به مساحت جدار خارجی در تنظیمات نرم افزار ۳۰٪ در نظر گرفته شده است. مدل سازی ها در نرم افزار دیزاین بیلدر با مشخصات و پارامترهای فوق الذکر صورت گرفت، در ادامه با آنالیز و اخذ خروجی های نرم افزاری نتایج مصرف انرژی در جدول ۶- ارائه گردید.

۳-۲-۱-۱ فرم نیمکره

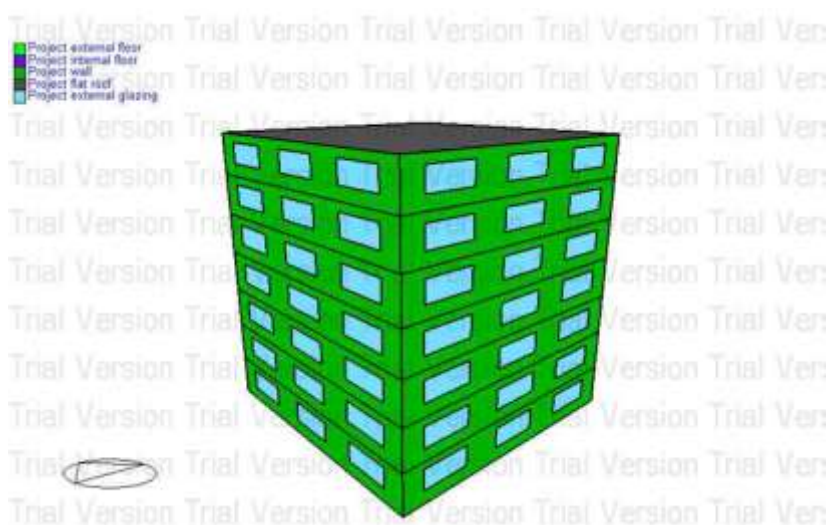
فرم نیم کره در پنج طبقه مدل سازی گردید، در این مدل سازی پارامتر مساحت زیربنا به صورت تقریبی با زیربنای سایر فرم ها برابر گرفته شد، که برابر با ۲۶۳۴,۳۰ متر مربع می باشد.



شکل-۱ فرم یابی هندسی ساختمان - شکل هندسی نیمکره

۳-۲-۱-۲ فرم مکعب مربع

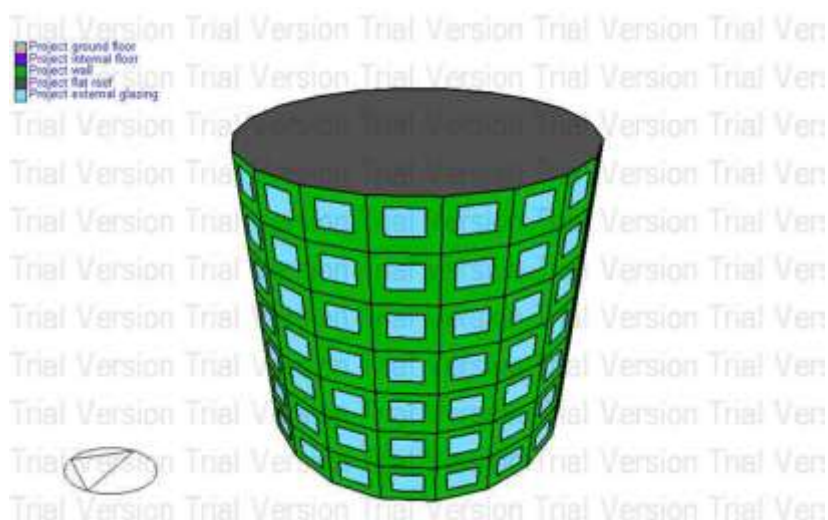
در مدل سازی فرم مکعب مربع هفت طبقه همانند طراحی گردید این فرم با مساحت زیربنا ۲۶۳۸,۶۰ مترمربع با سایر مدل های دیگر تقریباً برابر است.



شکل-۲ فرم یابی هندسی ساختمان - شکل هندسی مکعب مربع

فرم ۳-۱-۲-۳ استوانه

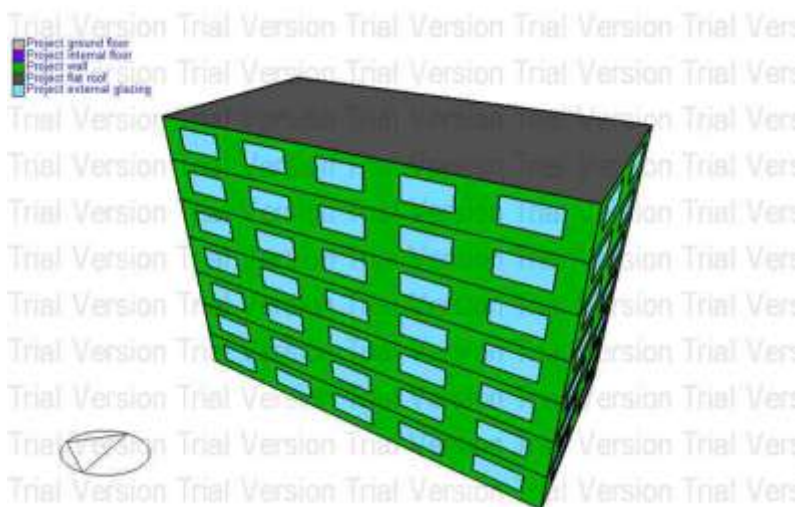
فرم استوانه با هفت طبقه همانند مدل سازی گردید در حالی که مساحت زیربنای ساختمان با ۲۶۳۳,۵۱ مترمربع با سایر فرم ها برابر در نظر گرفته شد.



شکل-۳ فرم یابی هندسی ساختمان - شکل هندسی استوانه

فرم ۴-۱-۲-۳ مکعب مستطیل

در فرم مستطیل نیز هفت طبقه همسان در نظر گرفته شد بصورتی که مساحت زیربنا ۲۶۲۱,۳۶ مترمربع و در نتیجه حجم ساختمان با سایر فرم ها به یک اندازه باشد.



شکل-۴ فرم یابی هندسی ساختمان - شکل هندسی مکعب مستطیل

در این پژوهش اعداد مساحت زیربنا، حجم بنا و مساحت پوسته ساختمان و در نهایت ضریب شکل ساختمان (که با تقسیم عدد مساحت پوسته ساختمان بر عدد حجم ساختمان به دست می آید)، با محاسبات ریاضی اکتساب گردید؛ درصد ضریب شکل بدست آمده در فرم ها به ترتیب کمترین به بیشترین : نیمکره ۱۶.۰۱ ، استوانه ۱۹.۴۰ ، مکعب مربع ۲۲.۰۴ ، مکعب مستطیل ۲۳.۳۶ می باشد (جدول -۱).

فرم حجمی ساختمان	مساحت زیربنا (مترمربع)	مساحت پوسته (مترمربع)	حجم ساختمان (مترمکعب)	ضریب شکل ساختمان (مساحت پوسته تقسیم بر حجم ساختمان، بر حسب درصد)
نیم کره	۲۶۳۴,۳۰	۱۲۵۰,۶۹	۷۸۱۳,۴۴	۱۶,۰۱
مکعب مربع	۲۶۳۸,۶۰	۱۶۸۰,۰۰	۷۶۲۲,۴۵	۲۲,۰۴
استوانه	۲۶۳۳,۵۱	۱۴۸۸,۸۲	۷۶۷۴,۸۰	۱۹,۴۰
مکعب مستطیل	۲۶۲۱,۳۶	۱۷۸۵,۰۰	۷۶۳۹,۳۹	۲۳,۳۶

جدول - ۱ : مشخصات ساختمان ها در فرم های چهارگانه پیش نهادی محاسبه نرم شده توسط افزار ، نگارنده

در ادامه با آنالیز هر کدام از فرم های پیش نهادی مکعب مربع، مکعب مستطیل، نیم کره و استوانه توسط نرم افزار دیزاین بیلدر، مقدار مصرف انرژی ساختمان در فرم های چهارگانه استخراج شد (جدول -۶).

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	286595.79	108.79	108.79
Net Site Energy	286595.79	108.79	108.79
Total Source Energy	622584.05	236.34	236.34
Net Source Energy	622584.05	236.34	236.34

جدول -۲ آنالیز و خروجی نرم افزار فرم نیم کره

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	322481.91	122.22	122.22
Net Site Energy	322481.91	122.22	122.22
Total Source Energy	651108.01	246.76	246.76
Net Source Energy	651108.01	246.76	246.76

جدول ۳- آنالیز و خروجی نرم افزار فرم مکعب مربع

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	304422.04	115.60	115.60
Net Site Energy	304422.04	115.60	115.60
Total Source Energy	634252.49	240.84	240.84
Net Source Energy	634252.49	240.84	240.84

جدول ۴- آنالیز و خروجی نرم افزار فرم استوانه

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	335098.13	127.83	127.83
Net Site Energy	335098.13	127.83	127.83
Total Source Energy	661739.44	252.44	252.44
Net Source Energy	661739.44	252.44	252.44

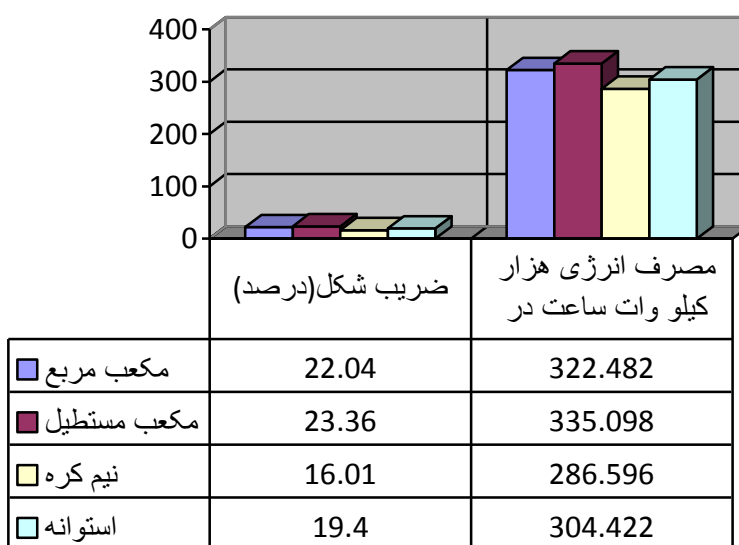
جدول ۵- آنالیز و خروجی نرم افزار فرم مکعب مستطیل

فرم حجمی ساختمان	مکعب مربع	مکعب مستطیل	نیم کره	استوانه
ضریب شکل	۲۲,۰۴	۲۳,۳۶	۱۶,۰۱	۱۹,۴۰
مصرف سالانه انرژی (کیلو وات ساعت)	۳۲۲۴۸۱,۹۱	۳۳۵۰۹۸,۱۳	۲۸۶۵۹۵,۷۹	۳۰۴۴۲۲,۰۴

جدول ۶- مشخصات ساختمان ها در فرم های چهارگانه پیش نهادی محاسبه نرم شده توسط افزار ، نگارنده

تحلیل و نتیجه گیری

با مقایسه بین ضریب شکل هر کدام از فرم ها با میزان مصرف انرژی ساختمان نتایج بدست آمده جهت مقایسه و تحلیل داده ها در جهت پیشنهاد فرم بهینه با رویکرد کاهش مصرف انرژی ارائه گردید. در آنالیز و مقایسه بین خروجی های نرم افزار مشخص گردید که ضریب شکل ساختمان با مصرف انرژی رابطه مستقیم دارد (نمودار-۲).



نمودار-۲: مقایسه مصرف انرژی در چهار فرم مکعب مربع، مکعب مستطیل، نیم کره و استوانه ، نگارنده

در نهایت از بررسی نتایج حاکی از مقایسه چهار فرم پیشنهادی اینگونه استنتاج گردید که به ترتیب فرم نیم کره، استوانه، مکعب مربع و در نهایت مکعب مستطیل که به ترتیب کمترین ضریب شکل را دارند، کمترین مصرف انرژی را نیز دارا می باشند. به عبارت دیگر در ساختمان ها با کاهش نسبت مساحت پوسته بر حجم کلی بنا تبادل حرارتی با مدیریت بهتری صورت می پذیرد؛ به نحوی که در زمستان انتقال حرارت تولید شده در داخل بنا از جدارها به بیرون کمتر و در تابستان نیز انتقال حرارت از محیط بیرون به فضای داخلی ساختمان کمتر می گردد در نتیجه اینگونه استنتاج می گردد که بهترین فرم ساختمان در جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان های میان مرتبه شهر شیراز باید در دسته فرم های کروی من جمله نیم کره قرار گیرد.

منابع

- اسدیان، الناز .تقی زاده، کتایون .وکیلی اردبیلی، علی . 1393 .تصمیم گیری چند معیاره در طراحی ساختمان های هوشمند با رویکرد بهینه سازی انرژی در راستای دستیابی به توسعه پایدار .چهارمین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران، ایران .
- ایرانمنش، لیلی . 1390 . نقش فرم بنا در کاهش مصرف انرژی در ساختمان و معماری پایدار .همایش منطقه ای عمران و معماری (با رویکرد اصلاح الگوی مصرف) .آمل، ایران .
- بازیار، سامیه . 1394 . بهینه یابی حجم کلی ساختمان در جهت کاهش مصرف انرژی با توجه به راهکارهای اقلیمی (نمونه موردی : شهر ایلام) .پایان نامه کارشناسی ارشد .دانشگاه پیام نور استان تهران، مرکز پیام نور تهران شرق .
- بهادریان، نازنین . نصراللهی، فرشاد . 1397 . کاهش مصرف انرژی ساختمان مسکونی با محاسبه ابعاد بهینه بازشوی پنجره .نخستین همایش تدبیر معماری، شهرسازی، عمران و جغرافیا در توسعه پایدار مشهد، ایران .
- خرد رنجبر، محمد . 1390 . مدیریت انرژی با بهینه سازی پوسته خارجی ساختمان .همایش منطقه ای عمران و معماری (با رویکرد اصلاح الگوی مصرف) .آمل، ایران .
- شاهرودی، پردیس . اخترکاو، مهدی . 1399 . بررسی نقش اقلیم در شکل گیری فرم ساختمانهای معاصر (نمونه موردی : شیراز) .هفتمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری تهران، 172 ایران .
- عابدی کایزکی، 1395، تاثیر فرم بنا بر مصرف انرژی با رویکرد مبحث ۹۱ مقررات ملی ساختمان، چهارمین همایش ملی کاربرد فناوریهای نوین در علوم مهندسی دانشگاه تربت حیدریه - ۵ اسفند ۱۳۹۵
- قاضی زاده، سینا . 1393 . تحلیل تحول شکل گیری بناهای معاصر اقلیم گرم و خشک . کنفرانس ملی معماری و منظر شهری پایدار .
- کسمایی ، مرتضی . 1395 . اقلیم و معمار . ی انتشارات شرکت خانه سازی ایران .
- نصراللهی، فرشاد . 1390 . ضوابط معماری و شهرسازی کاهش دهنده مصرف انرژی ساختمان ها، نشست کمیته ملی انرژی ایران .

Bağcı, B. 2011. Energy saving potential for a high-rise office building. Intelligent Buildings International. Volume 1, 2009 - Issue 2. Pages 156-163.

Rubin, Edward S. Paridson, Cliff I. 2002, Introduction to Engineering and the Environment. McGraw-Hill Education. University of Minnesota